



Analisis Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Menggunakan Bakteri *Bacillus Subtilis* dan Kapur Terhadap Nilai Parameter Fisis Tanah dan Kepadatan Tanah

Satria Jiro Jovian^{1✉}, Laily Endah Fatmawati¹

⁽¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

DOI: [10.31004/jutin.v9i2.58691](https://doi.org/10.31004/jutin.v9i2.58691)

✉ Corresponding author:

1432200100@surel.untag-sby.ac.id, lailyendah@untag-sby.ac.id

Article Info	Abstrak
Kata kunci: Stabilisasi tanah <i>Bacillus Subtilis</i> Kapur Tanah lempung lunak Pemadatan tanah Keywords: Soil stabilization <i>Bacillus Subtilis</i> Lime Soft clay soil Soil compaction	Perkembangan pembangunan di Kabupaten Sidoarjo memerlukan kondisi tanah yang stabil untuk mendukung konstruksi, terutama pada wilayah dengan tanah lempung lunak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh stabilisasi tanah menggunakan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> dan kapur terhadap parameter sifat fisis tanah dan pemadatan tanah. Metode penelitian dilakukan melalui pengujian laboratorium terhadap tanah asli dan tanah yang distabilisasi menggunakan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 3% dengan variasi kapur 10% dan 15% selama masa pemeraman 3 hari. Pengujian yang dilakukan meliputi kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, specific gravity. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> dan kapur mampu menurunkan kadar air, angka pori, serta kadar air optimum (OMC), sekaligus meningkatkan berat isi kering maksimum (MDD). Nilai MDD meningkat dari 1,446 gr/cm³ pada tanah asli menjadi 1,977 gr/cm³ pada campuran optimum, sedangkan nilai OMC menurun dari 27% menjadi 19%. Variasi campuran bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 3% dan kapur 15% memberikan hasil paling optimum dalam meningkatkan kepadatan dan kestabilan tanah. Abstract <i>The development of infrastructure in Sidoarjo requires stable soil conditions, especially in areas dominated by soft clay soils. This study aims to determine the effect of soil stabilization using Bacillus subtilis bacteria and lime on the physical and compaction properties of soil. Laboratory tests were conducted on original soil and stabilized soil using 3% Bacillus subtilis bacteria with lime variations of 10% and 15% during a 3-day curing period. The results showed that the addition of Bacillus subtilis and lime reduced water content and optimum moisture content (OMC), while increasing the maximum dry density (MDD). The optimum mixture</i>

was obtained from 3% *Bacillus subtilis* and 15% lime, with an MDD value of 1.977 gr/cm³ and OMC of 19%. These results indicate that *Bacillus subtilis* and lime can improve soil density and stability. Therefore, this stabilization method has the potential to be applied as an alternative ground improvement technique for soft clay soils.

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan material dasar yang berperan penting dalam konstruksi karena menjadi media pendukung berbagai struktur, seperti pondasi, jalan, tanggul, dan bendungan (Herdiman & Budiman, 2022). Tidak semua jenis tanah dapat langsung digunakan sebagai dasar konstruksi karena setiap tanah memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda-beda (Hadi et al., 2022).

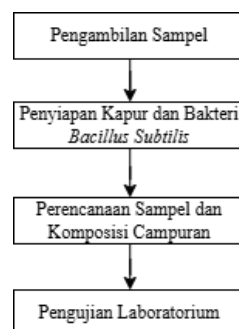
Perkembangan pembangunan di Kabupaten Sidoarjo terus mengalami peningkatan pasca terjadinya Lumpur Lapindo yang menyebabkan perubahan pola pemanfaatan lahan di beberapa wilayah. Berdasarkan penelitian mengenai dampak perubahan tutupan lahan akibat bencana tersebut, arah pembangunan fisik Kabupaten Sidoarjo cenderung bergeser menuju wilayah bagian barat, khususnya Kecamatan Wonoayu dan sekitarnya, yang direncanakan sebagai kawasan pengembangan permukiman hingga tahun 2029 (Nugraheni & Sagala, 2019). Kondisi tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo diasumsikan mengikuti arahan kebijakan RTRW Kabupaten Sidoarjo Tahun 2009–2029, di mana pembangunan fisik diarahkan untuk menghindari wilayah rawan bencana. Oleh karena itu, pengembangan wilayah dipusatkan pada bagian barat Kabupaten Sidoarjo, khususnya di sekitar Kecamatan Sukodono, Kecamatan Wonoayu, dan wilayah sekitarnya. (Linda Cristi Corolina, 2014) menjelaskan bahwa Desa Ploso di Kecamatan Wonoayu, Kabupaten Sidoarjo, didominasi oleh lahan persawahan, namun sebagian lahan tersebut telah beralih fungsi menjadi kawasan perumahan.

Stabilisasi tanah merupakan proses perbaikan karakteristik tanah dengan menambahkan bahan tertentu ke dalamnya, sehingga kemampuan tanah dalam menahan beban dan kekuatan gesernya dapat meningkat serta tetap terjaga kestabilannya (Fatmawati dkk., 2022.). Stabilisasi tanah dilakukan untuk memperbaiki sifat tanah melalui peningkatan kepadatan, penambahan bahan stabilisasi, pengurangan kadar air, atau penggantian tanah yang tidak memenuhi persyaratan teknis (Kambu & Utami, 2020)

Biosementasi merupakan metode perbaikan tanah yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam menghasilkan endapan kalsium karbonat (CaCO₃) yang berfungsi sebagai pengikat alami antarbutiran tanah sehingga mampu meningkatkan kerapatan, kekuatan, dan daya dukung tanah (Achal & Pan, 2014). Kapur yang umum digunakan dalam stabilisasi tanah adalah kalsium hidroksida [Ca(OH)₂] dan kalsium oksida (CaO), di mana kapur tohor (CaO) lebih efektif karena bersifat sangat reaktif terhadap tanah akibat proses pembakaran batu kapur (Sipangkar et al., 2023).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan upaya perbaikan tanah yang mampu meningkatkan parameter sifat fisis tanah guna mendukung kestabilan konstruksi pada wilayah pengembangan Desa Ploso, Kecamatan Wonoayu, Kabupaten Sidoarjo.

2. METODE

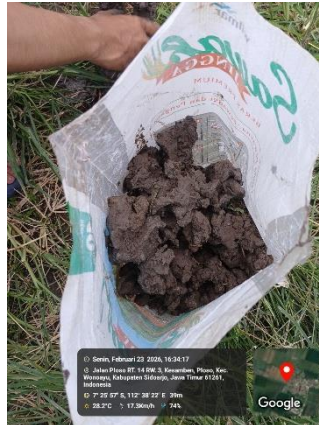


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

a. Pengambilan Tanah

Sampel tanah diambil di desa ploso kecamatan wonoayu kabupaten sidoarjo. Tanah yang diambil berada pada lokasi persawahan karena pada lokasi itu akan dialih fungsikan menjadi bangunan perumahan sehingga dibutuhkan penelitian mengenai karakteristik tanah tersebut. Tanah yang diambil merupakan tanah tidak terganggu (*undisturbed*) dan tanah terganggu (*Disturbed*). Cara pengambilan sampel tanah tidak

terganggu (*undisturbed*) pada kedalaman 1,5 meter dari permukaan dengan menggunakan alat bantu alat bor tanah (*Hand Auger*) dan tanah tidak terganggu pada kedalaman 1,5 meter menggunakan sekop dan cangkul. Sampel tanah yang tidak terganggu menggunakan tabung shelby dan dibungkus menggunakan plastik wrap kemudian ditutup dengan solatip, untuk sampel tanah terganggu dimasukkan kedalam plastik berukuran besar kemudian dilapisi karung agar menjaga kadar air alami tanah.



Gambar 2. Pengambilan Sampel Tanah

b. Penyiapan Kapur dan Bakteri *Bacillus Subtilis*

Jenis kapur yang digunakan pada penelitian ini yaitu kapur tohor yang diperoleh dari toko material dengan kandungan CaO sebesar 85,53%. Kapur tohor (CaO), yaitu hasil pembakaran batu kapur pada suhu sekitar 900°F

Bakteri *Bacillus Subtilis* merupakan bakteri gram positif berbentuk batang yang banyak dijumpai secara alami pada tanah, air, debu, dan material organik. Bakteri ini memiliki kemampuan membentuk endospora sehingga mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan. *Bacillus subtilis* juga tergolong bakteri non-patogen yang sering dimanfaatkan dalam bidang bioteknologi, kesehatan, pertanian, hingga rekayasa geoteknik karena mampu menghasilkan berbagai enzim, seperti urease dan eksopolisakarida (EPS). Kemampuan tersebut menjadikan bakteri ini berpotensi dimanfaatkan dalam proses biosementasi untuk membantu meningkatkan ikatan antarbutiran tanah.

c. Perencanaan Sampel dan Komposisi Campuran

Pencampuran direncanakan berdasarkan berat kering tanah hasil pengujian pemadatan tanah. Tanah kering dicampurkan dengan kapur dalam variasi tertentu terhadap berat kering tanah. Setelah kapur dan tanah tercampur rata kemudian ditambahkan bakteri *Bacillus Subtilis* sesuai dengan variasi yang ditentukan, lalu ditambah dengan kadar air optimum dari hasil pengujian pemadatan tanah. Kemudian diaduk kembali hingga homogen kemudian dimasukkan ke dalam cetakan sesuai dengan jenis pengujian yang dilakukan. Lalu sampel di peram selama 3 hari.



Gambar 3. Pencampuran Sampel Tanah Menggunakan Kapur dan Bakteri *Bacillus Subtilis*

d. Pengujian Laboratorium

Pengujian pada sampel tanah lunak dilakukan untuk menganalisis sifat fisis tanah yang sudah distabilisasi menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* dan kapur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian Sifat Fisis Tanah

Pengujian sifat fisis ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah sebelum dan sesudah distabilisasi dengan menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* dan kapur. Pengujian ini meliputi kadar air, angka pori (e), derajat kejenuhan (SR), dan specific gravity (Gs). Hasil pengujian sifat fisis dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisis Pada Tanah Asli dengan Tanah Campuran Bakteri *Bacillus Subtilis* dan Kapur

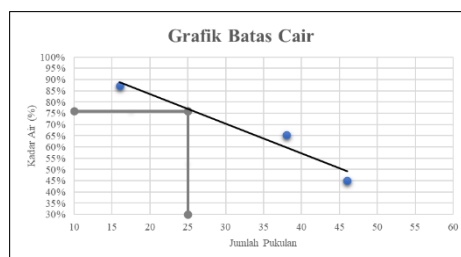
Variasi Persentase Campuran	Kadar Air	Angka Pori	Derajat Kejenuhan	Gravimetry
Tanah Asli	53,17%	0,954	50,039	2,654
Tanah + Bakteri 3% + Kapur 10%	33,82%	0,942	32,299	2,523
Tanah + Bakteri 3% + Kapur 15%	40,69%	0,751	50,736	2,464

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis tanah, tanah asli memiliki kadar air sebesar 53,17%, angka pori (e) sebesar 0,954, derajat kejenuhan (Sr) sebesar 50,039%, dan nilai specific gravity (Gs) sebesar 2,654. Setelah dilakukan stabilisasi menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* 3% dan kapur sebesar 15%, terjadi penurunan nilai kadar air, angka pori, dan derajat kejenuhan pada seluruh variasi campuran. Nilai terendah diperoleh pada campuran kapur 10%, dengan kadar air sebesar 33,82%, angka pori sebesar 0,942, dan derajat kejenuhan sebesar 32,299, dan nilai specific gravity (Gs) 2,523. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* dan kapur mampu meningkatkan kepadatan tanah serta mengurangi rongga dan kadar air di dalam tanah sehingga kondisi tanah menjadi lebih stabil.

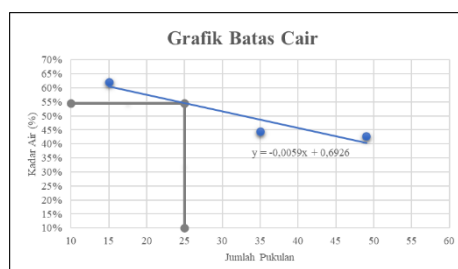
Batas Atterberg berfungsi untuk mengidentifikasi sifat fisik tanah berbutir halus, khususnya dalam menentukan perubahan konsistensi tanah akibat variasi kadar air. Pengujian ini digunakan untuk menilai kemampuan tanah dalam mengalami perubahan bentuk tanpa kehilangan kekuatannya.

Tabel 2. Hasil Pengujian Batas Konsistensi Tanah Asli dan Tanah Dengan Campuran

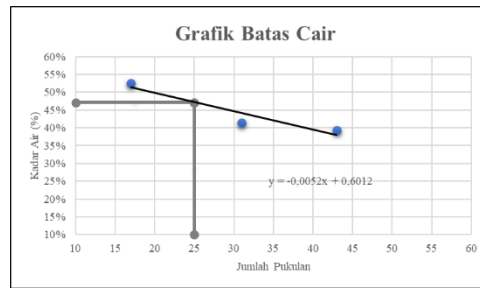
Variasi Persentase Campuran	Liquid Limit (LL)	Plastic Limit (PL)	Plasticity Index (PI)
Tanah Asli	76%	42,77%	33,33%
Tanah + Bakteri 3% + Kapur 10%	54,51%	42,55%	11,96%
Tanah + Bakteri 3% + Kapur 15%	47,12%	38,49%	8,63%



Grafik 1. Batas Cair Tanah Asli



Grafik 2. Batas Cair Tanah Dengan Campuran Bakteri *Bacillus Subtilis* 3% dan Kapur 10%



Grafik 3. Batas Cair Tanah Dengan Campuran Bakteri *Bacillus Subtilis* 3% dan Kapur 15%

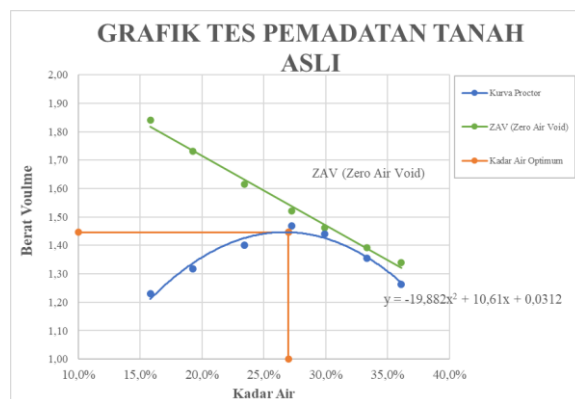
Berdasarkan hasil pengujian *Atterberg Limit*, tanah asli memiliki nilai *Liquid Limit* (LL) sebesar 76%, *Plastic Limit* (PL) sebesar 42,77%, *Plasticity Index* (PI) sebesar 33,33%. Setelah dilakukan stabilisasi menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* 3% dan kapur, nilai LL, PL, dan PI pada variasi campuran 10%, dan 15% cenderung mengalami penurunan. Nilai LL menurun menjadi 54,51% dan 47,12%; nilai PL menjadi 42,77% dan 38,49%; serta nilai PI menjadi 11,96% dan 8,63%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses stabilisasi mampu menurunkan tingkat plastisitas, mengurangi potensi kembang-susut, serta menurunkan kemampuan tanah dalam mengikat air sehingga tanah menjadi lebih stabil dan memiliki kepadatan yang lebih baik.

Pengujian pemadatan tanah dilakukan untuk menentukan tingkat kepadatan maksimum yang dapat dicapai oleh suatu jenis tanah melalui proses pemadatan tertentu. Kepadatan tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berkaitan, antara lain kadar air pada saat pemadatan, volume dan karakteristik butiran tanah, serta besarnya energi pemadatan yang diberikan. Dari pengujian ini diperoleh hubungan antara kadar air dan berat volume kering tanah, sehingga dapat ditentukan kadar air optimum (Optimum Moisture Content/OMC) yang menghasilkan kepadatan maksimum tanah.

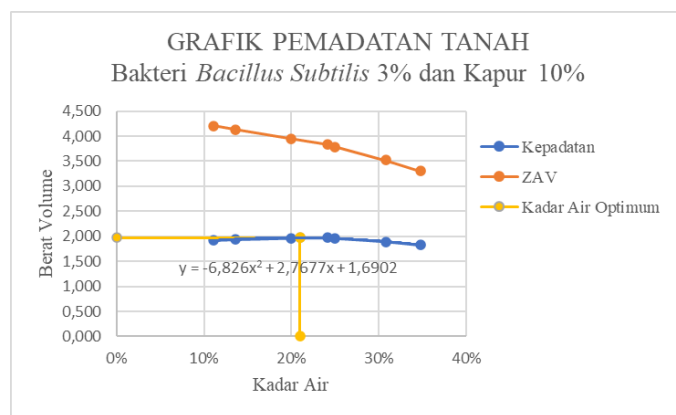
Tabel 3. Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Asli dan Tanah Dengan Campuran

Variasi Persentase Campuran	Berat Kering Optimum (Yd)	Kadar air optimum
Tanah Asli	1,446 gr/cm ³	27%
Tanah + Bakteri 3% + Kapur 10%	1,974 gr/cm ³	21%
Tanah + Bakteri 3% + Kapur 15%	1,977 gr/cm ³	19%

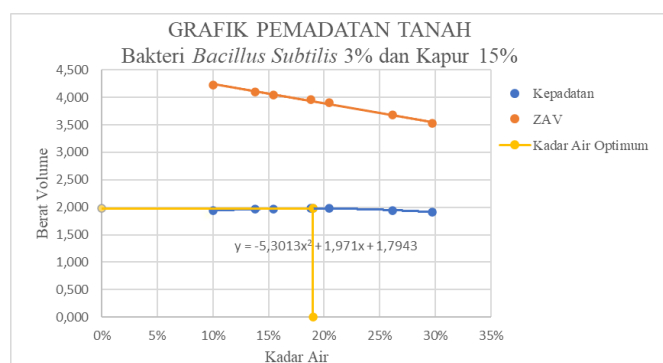
Berdasarkan hasil pengujian Proctor, penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* dan kapur memberikan pengaruh terhadap peningkatan sifat mekanis tanah. Nilai berat isi kering maksimum (Maximum Dry Density/MDD) mengalami peningkatan dari 1,446 gr/cm³ pada tanah asli menjadi 1,974 gr/cm³, 1,977 gr/cm³, pada variasi campuran 10%, dan 15%, sedangkan kadar air optimum (Optimum Moisture Content/OMC) mengalami penurunan dari 27% menjadi 21%, 19%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* dan kapur mampu meningkatkan kepadatan tanah serta memperbaiki susunan antarbutiran tanah sehingga tanah menjadi lebih padat dan stabil. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



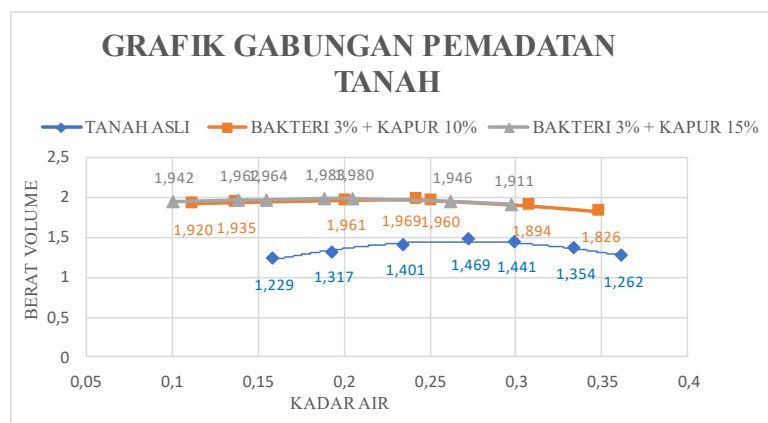
Grafik 4. Pemadatan Tanah Asli



Grafik 5. Pemadatan Tanah Dengan Campuran Bakteri *Bacillus Subtilis* 3% dan Kapur 10%



Grafik 6. Pemadatan Tanah Dengan Campuran Bakteri *Bacillus Subtilis* 3% dan Kapur 15%



Grafik 4. Gabungan Pemadatan Stabilisasi Tanah

Berdasarkan grafik rekapitulasi pengujian pemadatan tanah dengan waktu pemeraman 3 hari, proses stabilisasi menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* dan kapur menunjukkan pengaruh terhadap penurunan nilai kadar air optimum (Optimum Moisture Content/OMC) serta peningkatan berat isi kering maksimum apabila dibandingkan dengan tanah asli. Campuran 3% bakteri *Bacillus Subtilis* dan 15% kapur memberikan hasil paling optimum dengan nilai OMC sebesar 19% dan berat isi kering maksimum sebesar 1,977 gr/cm³. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa penambahan bakteri *Bacillus subtilis* dan kapur dapat memperbaiki tingkat kepadatan tanah serta menurunkan kebutuhan kadar air selama proses pemadatan berlangsung.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, stabilisasi tanah lempung lunak menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* dan kapur mampu memperbaiki karakteristik tanah. Hasil pengujian sifat fisis menunjukkan terjadinya penurunan kadar air, angka pori, dan derajat kejenuhan dibandingkan tanah asli, sehingga tanah menjadi lebih padat dan stabil. Selain itu, hasil pengujian Proctor menunjukkan peningkatan nilai berat isi kering maksimum (MDD) dari 1,446 gr/cm³ menjadi 1,977 gr/cm³ serta penurunan kadar air optimum (OMC) dari 27% menjadi 19%. Variasi

campuran bakteri *Bacillus subtilis* 3% dan kapur 15% memberikan hasil paling optimum dalam meningkatkan kepadatan dan kestabilan tanah.

5. REFERENSI

- Achal, V., & Pan, X. (2014). Influence of Calcium Sources on Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation by *Bacillus* sp. CR2. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s12010-014-0842-1>
- Fatmawati, L. E., Widhiarto, H., & Santoso, H. (n.d.). Analisis Pengaruh Penambahan Bahan Stabilisator Abu Jerami terhadap Kepadatan Tanah Lempung Ekspansif Kabupaten Pamekasan. *Academia.Edu*. Retrieved <https://www.academia.edu/download/112617411/976.pdf>
- Nugraheni, W. P., & Sagala, S. A. H. (2019). ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN KABUPATEN SIDOARJO SETELAH BENCANA SEMBURAN LUMPUR SIDOARJO. *Digilib.Itb.Ac.Id*. https://digilib.itb.ac.id/assets/files/2019/2019_TS_PP_WIDYA_PAWESTRI_NUGRAHENI_JURNAL.pdf
- Rababah, S. , O. M. , A.-M. H. , & A. Z. A. (2024). Environmental assessment of cement-based materials: Carbon emissions and sustainability challenges. *Construction and Building Materials*, 409, 134590.
- Sipangkar, S. O., Peslinof, M., & ... (2023). Analisis sifat fisis tanah pada stabilitas tanah lempung dengan penambahan kapur tohor (CaO). *Jiif (Jurnal Ilmu Dan* <https://jurnal.unpad.ac.id/jiif/article/view/42070>
- Herdiman, H., & Budiman, D. (2022). Stabilisasi tanah ekspansif dengan campuran zeolite. *JITSi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 3(1), 54–60. <https://doi.org/10.36423/jitsi.v3i1.1075>
- Kambu, O., & Utami, G. S. (2020). Pengaruh waktu pemeraman pada stabilisasi tanah lempung dengan campuran limbah batu gamping ditinjau dari kuat geser tanah. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 69–78. <https://doi.org/10.31284/j.jts.2020.v1i1.937>
- Hadi, Z., Gandi, S., & Sarie, F. (2022). Pengaruh penambahan batu zeolit dan semen portland terhadap daya dukung tanah lempung. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil TRANSUKMA*, 5(1).
- Corolina, L. C., Saleh, C., & Suwondo. (2014). Implementasi kebijakan alih fungsi lahan pertanian menjadi kawasan perumahan (Studi pada Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah Kabupaten Sidoarjo). *Jurnal Administrasi Publik (JAP)*, 2(2), 213–220.